©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Aus dem Institut für Analytische Chemie und dem Institut für Petrologie der Universität Wien

Untersuchungen des Vorkommens der Seltenen Erden und von Thorium in Gesteinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselfensters

Von W. Kiesl, H. Wieseneder und F. Kluger

Mit 2 Abbildungen und 1 geologischen Karte

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 25. März 1983 durch das k. M. H. Wieseneder)

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Untersuchungen über die Verteilung der Seltenen Erdelemente, von Th und einigen anderen Spurenelementen in Gesteinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselfensters ausgeführt. Gesteine der Grobgneisserie, der Strallegger Gneis- und Schieferserie sowie der Wechselserie wurden untersucht, nachdem auf ungarischer Seite (Kristallin von Sopron) Anreicherungen der SEE und Th in Glimmerschiefern und Disthenquarziten festgestellt wurden. In den von uns bearbeiteten Gesteinen wurde überdies der Anteil der erwähnten Elemente in der Schwermineralfraktion ermittelt. Dabei wurde eine starke Anreicherung der SEE und von Th in den Schwermineralanteilen des Leukophyllitzuges aus dem Miesenbachtal sowie des Disthenquarzites bei Fronsberg beobachtet.

Über die Verteilungsmuster der SEE sind Aussagen über die Genese der untersuchten Gesteine möglich. Diesbezüglich konnte gezeigt werden, daß bei der metasomatischen Umwandlung des Grobgneises zum Leukophyllit kein Transport der SEE stattgefunden hat, diese nur aus den Hauptmineralien in die Schwermineralien umgelagert wurden.

Summary

In the paper presentet investigations on the distribution of the Rare Earth Elements and of Th as well as certain trace elements in rocks of the unterostalpinen Kristallin of the Semmering-Wechselfenster have been carried out. Rocks of the Grobgneisserie, Strallegger Gneis- and Schieferserie and the Wechselserie were analyzed, after certain enrichments of REE and of Th have been observed in Glimmerschiefern and Disthenquarziten of the Sopron-Kristallin (Hungary). In the rocks investigated by the authors the content of the elements mentioned was estimated also in the heavy mineral fraction. A remarkable enrichment of REE and of Th has been found in the heavy mineral fraction of the

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Leukophyllitzug from Miesenbachtal as well as the Disthenquarzit near Fronsberg.

From the distribution pattern of the REE clues to genetic aspects concerning the rocks under investigation are possible. Thereto it could be shown, that no transport of REE took place during the metasomatic transformation of the Grobgneis into the Leukophyllit. The REE have been only redistributed during this event and concentrated nearly exclusively in the heavy minerals.

Einleitung

Schon seit einiger Zeit ist bekannt, daß in dem zur genannten tektonischen Einheit gehörenden Kristallin von Sopron (Ungarn) umfangreiche Prospektionsarbeiten auf Seltene Erden und Thorium durchgeführt wurden (FAZEKAS et al, 1975). Bei Bohrungen, die in Grenznähe auf ungarischem Gebiet bei Mörbisch und Neckenmarkt niedergebracht wurden, sind Anreicherungen von Seltenen Erden und Thorium nachgewiesen worden. Nach den Untersuchungen der ungarischen Kollegen sind die Seltenen Erden und Thorium an die Mineralien Florencit, Monazit, Thorit und Thorianit gebunden, die in „gestreiften" Glimmerschiefern und Disthenquarziten auftreten.

Mehrjährige petrologisch-geologische Untersuchungen, besonders auf Blatt Birkfeld 135, 1:50.000, beiliegende geologische Karte von H. WIESENEDER sowie Vergleichsexkursionen im benachbarten Ungarn ließen eine Konzentration Seltener Erden auch in entsprechenden Gesteinen des Semmering-Wechselgebietes und der Oststeiermark vermuten.

Im untersuchten Gebiet wurden folgende Gesteinsserien unterschieden:

1. Grobgneisserie,
2. Strallegger-Gneis- und Schieferserie, einschließlich der Talklagerstätte Rabenwald,
3. Wechselserie,
4. Mittelostalpines Kristallin und Koglhof-Marmorkomplex,
5. Grazer Paläozoikum und Raasbergserie.

Gesteine der Grobgneisserie, der Strallegger-Gneis- und Schieferserie sowie der Wechselserie wurden auf Seltene Erden und Thorium untersucht.

Petrographische Untersuchungen

Das Leitgestein der *Grobgneisserie* ist ein *grobkörniger Granitgneis.* Das über große Strecken einheitlich ausgebildete Gestein besteht aus mehreren Zentimeter langen Mikroklinperthiten, gefüllten Plagioklasen, mehr oder weniger stark chloritisierten Biotiten, neugebildeten Phengiten und Quarz. Akzessorien sind Granat, Apatit und Zirkon. Nähere Angaben über die Petrographie und Petrologie des Gesteins findet man

O.Ö. LANDESMUSEUM
BIBLIOTHEK
Inv.-Nr. 1027/1984

bei WIESENEDER (1961, 1967, 1968, 1971, 1981). Radiometrische Datierungen von S. SCHARBERT (unveröffentlichter Bericht) ergaben ein Rb/Sr-Gesamtgesteinsalter von 340 ± 10 Millionen Jahren. *Leukophyllite* sind geringmächtige Lagen von Chlorit-Muskowit-Quarz-Phylliten bis Glimmerschiefern. Sie enthalten Zirkon, Apatit, gelegentlich auch Turmalin und Erze als Akzessorien. Nach den Felduntersuchungen gehen sie meist aus Grobgneis an Streßzonen hervor. Sie treten besonders an den Grenzen der Grobgneiskörper auf. Das Alter der Leukophyllitbildung ergibt sich nach S. SCHARBERT (unveröffentlichter Bericht) nach K/Ar-Datierungen mit Werten um 80 Millionen Jahren.

Die Nebengesteine der Grobgneise sind phyllitische *Glimmerschiefer,* die an der Grenze zum Grobgneis nicht selten gefeldspatet sind. Es handelt sich wahrscheinlich um eine kontaktmetasomatische Beeinflussung der Nebengesteine bei der Platznahme der grobkörnigen Granitgneise. Aus den letzteren entstand bei der alpinen Metamorphose der Grobgneis. Die phyllitischen Glimmerschiefer enthalten beim Reingruber Kogel eine Einschaltung von Chlorit-Muskowitschiefer. Das Gestein wurde früher zur Herstellung von Gestellsteinen verwendet. Nach der chemischen Analyse von MODJTAHEDI und WIESENEDER (1974) ist das Mineral dem Klinochlor zuzuordnen. Granat, Zirkon, Titanit und Quarz treten als Akzessorien auf.

An der Grenze Grobgneis – phyllitische Glimmerschiefer treten im Raume von Rettenegg-Birkfeld *Hornblende-Biotit Metagabbros* auf. Es handelt sich um linsenförmige Gesteinskörper von wenigen hundert Meter Länge und einer Mächtigkeit bis zu achtzig Meter. Aplitgneise durchsetzen diese Gesteine gangförmig und enden jeweils an der Grenze zum Nebengestein. Daraus geht unseres Erachtens hervor, daß die heutige Position der Metagabbros tektonisch ist. Der ursprüngliche Mineralbestand der Gesteine besteht aus Plagioklas (An-Gehalt um 60 %), gemeiner Hornblende, Biotit und gelegentlich Diallag. Dieser ursprüngliche Mineralbestand, zu dem stellenweise Spinell und Korund kommen, ist nur in Relikten vorhanden. Durch eine jüngere (alpine) Metamorphose entsteht Granat; die Plagioklase werden serizitisiert, die Biotite chloritisiert. Die Umwandlung der Spinelle in Chloritoid wurde von WIESENEDER (1967) beschrieben.

Die genetische Deutung der Gesteine als mögliche Restite einer Anatexis oder als umgeprägte Al-reiche Einschlüsse wurde von WIESENEDER (1961) diskutiert.

Über der Grobgneisserie liegt lückenhaft und diskordant schwachmetamorphes Permomesozoikum. Es besteht aus basalen Schichten von Arkoseschiefern, Brekzien und Porphyroiden, die von Semmeringquarziten, Rauhwacken, Dolomiten und Kalken überlagert werden. Die Obertrias ist im Semmeringgebiet in Form bunter Keuperschiefer entwickelt.

In den letzten Jahren wurde eine charakteristische Gesteinsassoziation von der liegenden Grobgneisserie tektonisch abgetrennt und als

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Strallegger-Gneis und Schieferserie bezeichnet. Leitgesteine dieser Serie sind Strallegger-Gneise (vgl. SCHWINNER, 1935) und Staurolith-Chloritoid-Glimmerschiefer – Tommerschiefer (vgl. SCHWINNER, 1935). Nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen war es notwendig, die Bezeichnung Strallegger-Gneis neu zu definieren. Es handelt sich dabei um migmatisierte Biotit-Paragneise, die häufig Sillimanit und Paramorphosen nach Andalusit enthalten. Weitere Gemengteile sind Granat, Oligoklas und Quarz. Zirkon und Erze sind Akzessorien. Die Typlokalität dieser Gesteine sind zwei kleine Steinbrüche 400 m NW der Lokalität Kreuzwirt (Kartenblatt Birkfeld). Radiometrische Datierungen durch S. SCHARBERT haben nicht zu interpretierbaren Ergebnissen geführt.

Der Chloritoid der Strallegger-Schiefer entsteht bei der rückschreitenden Metamorphose auf Kosten des Stauroliths. Vielfach wird der Staurolith auch serizitisiert. Die Grenze Stralleger-Schiefer/phyllitische-Glimmerschiefer der Grobgneisserie ist meist unscharf, da die verbreitete alpine Diaphthorese eine Anpassung des Mineralbestandes und des Gefüges der Gesteine bewirkt.

Ein kennzeichnendes Gestein der beschriebenen Serie ist ein in größeren und kleineren Linsen auftretender *Disthenquarzit.* Die Länge der Vorkommen beträgt bis 500 Meter, die Breite bis 300 Meter. Es handelt sich um weiße bis graue oder grünliche Gesteine, die aus wechselnden Mengen von Quarz, Muskowit, Chlorit und 1–30 Vol.-% Disthen und Erzen als Akzessorien bestehen. Der Disthen tritt in 0,2–0,5 mm langen Kriställchen auf (MODJTAHEDI und WIESENEDER, 1974). Wir betrachten diese Gesteine als metamorphe Kaolinsande. Weitere charakteristische Gesteine sind *mittelkörnige Orthogneise,* die besonders typisch am Buchkogel, SE-Ecke des Kartenblattes Birkfeld, auftreten. Sie setzen auch die Gehänge des Feistritztales zwischen Birkfeld und Steg zusammen. Die gut geschieferten Gesteine bestehen aus Mikroklin, der meist rundliche Quarze umschließt, Serizit führenden Oligoklasen, Biotit, Muskowit, Quarz und den Akzessorien Granat, Erz und Zirkon. Radiometrische Datierungen dieses Gesteins durch Frau Dr. Scharbert stehen vor dem Abschluß. Ein *mittelkörniger granophyrischer Metagranit,* begleitet von Turmalin führenden Pegmatiten, ist im Steinbruch unterhalb der Freienberger Klamm im Feistritztal (Kartenblatt Weiz) aufgeschlossen. Auch im Rabenwaldgebiet kommt dieses Gestein vor. Es besteht aus graphisch verwachsenem Kalifeldspat und Quarz, Alkalifeldspat, serizitisierten Oligoklasen, Muskowit, Biotit und xenomorphem Quarz. Akzessorien sind Granat und rundliche Zirkone. Chemische Daten sind bei WIESENEDER (1968) angegeben. Eine K/Ar-Datierung der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover (MÜLLER und HARRE, briefliche Mitteilung) ergab einen Wert von 153 ± 3.10^6 J. Eine Datierung nach der gleichen Methode, durchgeführt von S. SCHARBERT, Geologische Bundesanstalt, Wien, wies $164{,}9 \pm 4{,}1.10^6$ J aus. Jeweils wurden Muskowite aus Pegmatiten datiert. Die angegebenen Daten dürften Mischalter darstellen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

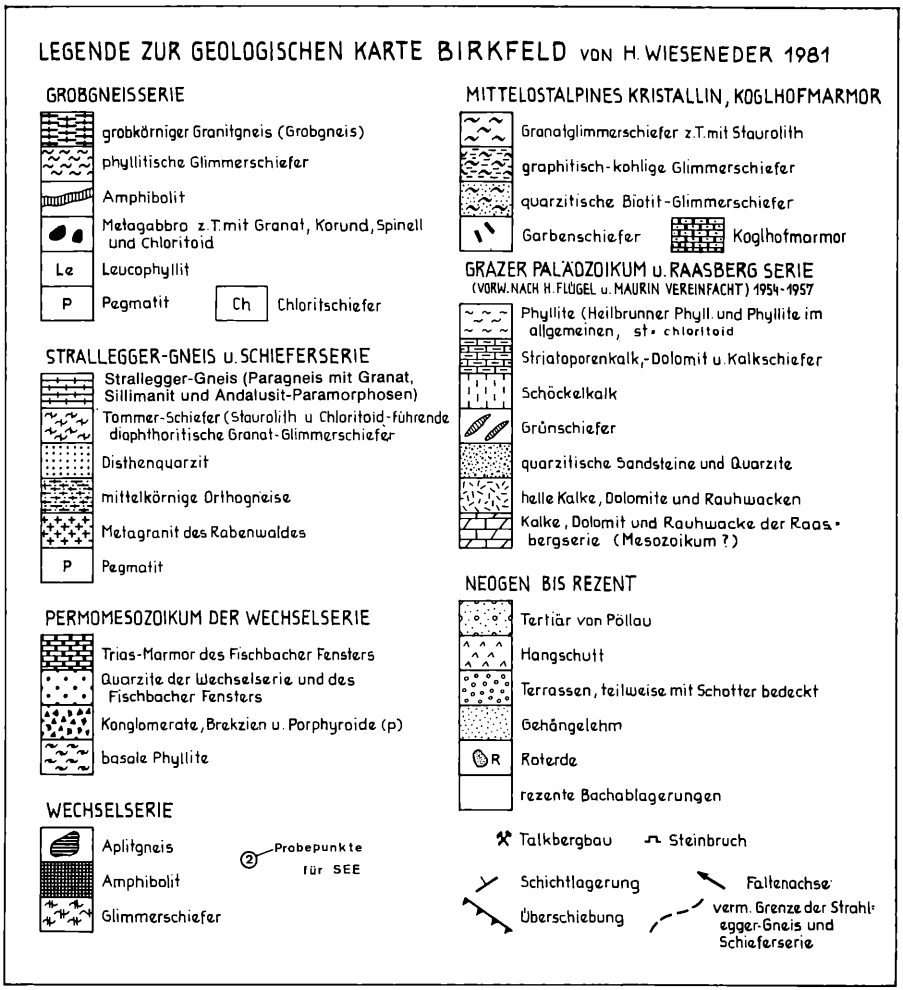
Die *Talklagerstätte Rabenwald* liegt in der Basisregion der Strallegger-Gneis- und Schieferserie, und zwar im stark durchbewegten Grenzgebiet gegen die liegende Grobgneisserie. Große Tagebaue vermitteln einen guten Einblick in den Aufbau der Lagerstätte; der Untertagebau und zahlreiche Bohrungen der Talkumwerke Naintsch verfeinern das geologische Bild. Die Gesteinsschichten fallen mit geringen Neigungswinkeln in SSE-licher Richtung ab. Die Nebengesteine der Lagerstätte sind Strallegger-Gneise, die eine mehrere hundert Meter lange und achtzig Meter mächtige Linse von Kalksilikatgesteinen enthalten. Diese besteht aus Granat, Epidot-Klinozoisit, Biotit, Calcit, Quarz und reichlich Titanit. Der Talk führende Komplex folgt den oben angegebenen Lagerungsverhältnissen. Seine Mächtigkeit schwankt infolge der starken Tektonisierung, die sich auch in der Ausbildung von Gesteinswalzen äußert, von 0 bis 70 m.

Am Gesteinsaufbau sind neben Talk vor allem „Kornsteine" und in geringerem Umfang auch Spatmagnesit und Dolomit beteiligt. Die mineralogische Zusammensetzung der Kornsteine (eine bergmännische Bezeichnung) ist einfach, sie bestehen aus Quarz, Muskowit, Leuchtenbergit, Disthen und aus akzessorischem Apatit. Dazu kommen gelegentlich Turmalin, Mikroklin und Albit. Die von uns untersuchten Proben gleichen mineralogisch und chemisch dem Disthenquarzit vom Schloffereck, weshalb wir, zumindest für einen Teil der Kornsteine, ebenfalls eine Herkunft von Sandsteinen mit Kaolinführung annehmen möchten (MODJTAHEDI und WIESENEDER, 1974). Nach FRIEDRICH (1947) sind die Kornsteine aus Gneisen, Glimmerschiefern, Pegmatiten und quarzreichen Sandsteinen durch einen metasomatischen Prozeß entstanden. Sowohl FRIEDRICH (1947) als auch MOREAU (1981) erklären die Talkbildung durch eine metasomatische Verdrängung der Nebengesteine durch Mg-reiche Lösungen der Tiefe und ordnen den Vorgang in den alpinen Zyklus ein. Bemerkenswert ist das – seltene – Auftreten großer Apatite im Talk. Tremolite finden sich gerne auf den Gesteinswalzen. Die Bildungsbedingungen des Talks wurden unter Auswertung der Zustandsdiagramme von FAWCETT und YODER (1966) mit etwa 450–500° C bis höchstens 550° C bei 2 kb von HERITSCH (1967, 1971) angegeben. HERITSCH (1965) hat das Magnetkies-Geothermometer auf einen Magnetkies und Pyrit führenden Quarzgang im Tagbau Wiesenhofer (1104 m Seehöhe) angewendet. Die ermittelte Bildungstemperatur von 310° C könnte darauf hindeuten, daß der Quarzgang jünger ist als die Talkbildung. Die von uns durchgeführten Untersuchungen der SEE-Verteilung könnten auf eine nicht metasomatische Anlage der Lagerstätten hinweisen. Hierüber wird in einer eigenen Veröffentlichung berichtet.

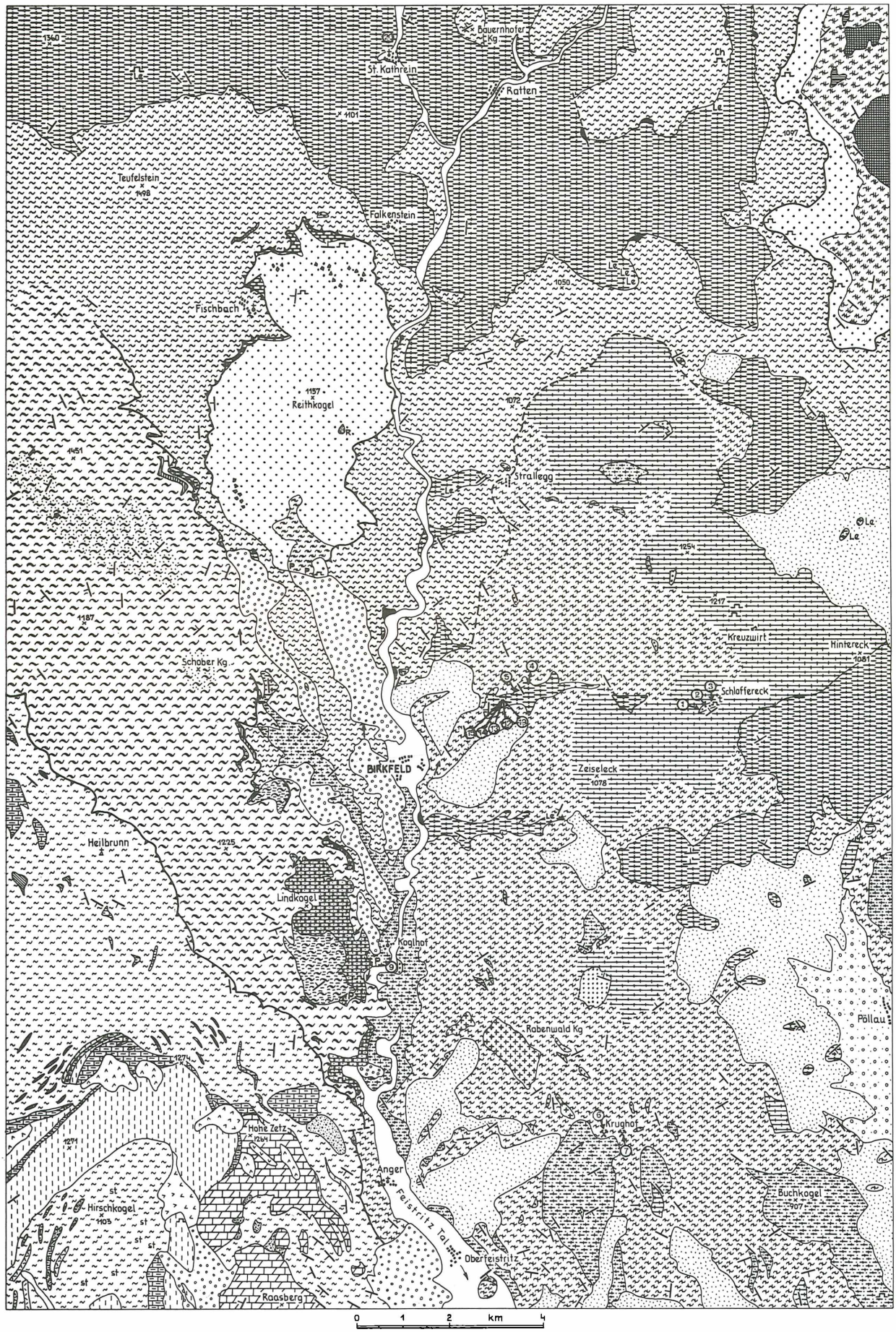
Die Wechselserie wird nach FAUPL (1972) von *Hangenden Wechselschiefern* (Grauwackenphyllite, Epidot-Chlorit Quarzphyllite, Quarz-Chloritphyllite, basale Phyllite), *Liegenden Wechselschiefern* (Quarzphyllite, Graphitschiefer und graphitische Albitschiefer) und der darunter folgenden Serie der „*Wechselgneise*" aufgebaut. Die letzteren bestehen aus Albitgneisen, Albitphylliten und untergeordneten Grün-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

schieferlagen. Tektonisch bildet die Wechselserie eine nach W, NW und N abfallende Kuppel. Die Ostgrenze der Wechselserie ist durch die tiefgreifende Störung Aspang-Friedberg markiert. Der Zug permomesozoischer Gesteine, der vom Pfaffensattel ins Lafnitztal zieht, biegt bei der Hammonsäge (Blatt Birkfeld) nach E ab und keilt alsbald aus. Dieser Gesteinszug liegt im N der Wechselserie auf und überlagert im S Gesteine der Grobgneisserie. Die Wechselschiefer sind nach mikroskopischen Befunden Gesteine einer aufsteigenden (alpinen) Metamorphose. Die „Wechselgneise" sind dagegen durch rückschreitende Metamorphose und Albitblastese aus höher metamorphen Gesteinen (Glimmerschiefer und ähnliche Gesteine) entstanden (WIESENEDER, 1971; FAUPL, 1972).



©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zur Überwindung der Schwierigkeiten, die sich aus diesen Lagerungsverhältnissen ergeben, wurde bereits früher (WIESENEDER, 1971) ein karbones Alter für die Wechselschiefer zur Diskussion gestellt. ERKAN (1977) ist zu einer ähnlichen Deutung gelangt. Das bedeutet, daß die Wechseldecke im Süden auch Gesteine der Grobgneisserie enthält. Diese Deutung stützt TOLLMANNS Auffassung einer unterostalpinen Position dieser tektonischen Einheit, die nach FAUPL (1972) auch im Süden geschlossen sein dürfte. Vor kurzem hat FLÜGEL (1979) das „Rabenwaldkristallin" der Wechselserie zugeordnet. Aus den obigen Darlegungen ergibt sich, daß weder die Lagerungsverhältnisse noch die Petrographie der Gesteinsserien diese Annahme stützen.

Das *Kristallin von Mörbisch,* Burgenland, wurde in dem unmittelbar an der österreichisch-ungarischen Grenze gelegenen großen Steinbruch studiert. Die dort auftretenden aplitischen Gneise, Glimmerschiefer und Amphibolite sind wohl der Wechseleinheit zuzuordnen. Eine Prüfung des gesamten Steinbruches auf radioaktive Strahlung ergab mehrer Punkte mit erhöhten Strahlungswerten. Die Laboruntersuchungen auf Thorium (Uran) und Seltenen Erden verlief jedoch negativ. Wir nehmen an, daß an den festgestellten Punkten Radon austritt. Eine weitere Prüfung des Gebietes ist vorgesehen.

Für unsere Untersuchungen war das *Gebiet von Neckenmarkt,* Burgenland, besonders wichtig, da hier das von der ungarischen Arbeitsgruppe detailliert untersuchte Kristallin von Sopron über das Gruberkreuz und die Oswaldikapelle weiter nach Österreich zieht, um alsbald unter den neogenen Deckschichten zu verschwinden. Einem Bericht von KISHAZI (1979), den uns Herr Dr. PAHR (Geologische Bundesanstalt, Wien) freundlicher Weise zur Verfügung stellte, entnehmen wir, daß die auf ungarischem Gebiet in großer Verbreitung zu findenden schwach diaphthoritischen „gestreiften Glimmerschiefer" (Disthen-Chloritoid-Muskowitschiefer) bzw. die mit ihnen verbundenen Sillimanit-Andalusit-Biotitschiefer auf österreichischem Gebiet nur schwer zu verfolgen sind. Wir erkennen jedoch in diesen Gesteinen die Strallegger-Gneise und die Strallegger-Schiefer (Tommerschiefer) wieder. Diese Gesteine sind, wie schon erwähnt, weiter im Westen auf Blatt Birkfeld sehr verbreiet. Der von KISHAZY (1979) beschriebene, mittelfeinkörnige Augengneis ist mit dem mittelkörnigen Orthogneis des Rabenwaldgebietes zu vergleichen. Durchgeführte Szintillometermessungen ergaben jedoch keine positiven Resultate. Aus diesem Grunde haben wir unsere Untersuchungen auf das Gebiet Rabenwald-Birkfeld konzentriert.

Geochemische Untersuchungen

Gesteine der Grobgneisserie: Leitgesteine der Grobgneisserie sind grobkörnige bis mittelkörnige *Granitgneise.* Die sieben untersuchten Proben wurden hinsichtlich der SEE, Th, U und einiger anderer Spurenelemente analysiert, die Resultate sind der Tabelle 1 dargestellt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Proben 5, 13, 14, 15 und 19 wurden im Miesenbachtal, die Probe 18 bei Ratten, die Probe 20 bei St. Kathrein am Hauenstein aufgesammelt.

Tabelle 1: Spurenelementanalysen der Granitgneise (alle Angaben in ppm).

Proben Nr.	5	13	14	15	18	19	20	Mittelwert
La	26,0	14,6	18,1	16,2	13,3	22,1	12,5	17,6
Ce	61	26	33	35	30	53	33	38,7
Nd	30	10	14	15	13	24	14	17,1
Sm	6,0	2,4	2,9	3,0	2,8	5,7	3,0	3,7
Eu	0,50	0,37	0,47	0,35	0,81	0,77	0,38	0,52
Tb	0,59	0,36	0,43	0,40	0,46	n. b.	0,42	0,44
Yb	1,30	0,61	0,69	0,82	1,38	1,98	0,55	1,04
Lu	0,175	0,091	0,100	0,120	0,210	0,290	0,080	0,15
Th	12,0	9,2	11,3	9,8	10,4	18,0	8,2	11,3
U	2,7	2,6	4,1	3,6	3,8	3,1	3,5	3,3
Sc	6,5	2,5	3,2	11,0	9,5	4,9	2,9	5,8
Hf	3,1	2,5	2,9	2,3	2,5	5,1	2,1	2,9
Co	2,9	3,5	4,3	5,1	3,9	2,4	2,7	3,5
Cr	3,5	6,8	7,4	17,0	9,0	6,9	4,8	7,9
Rb	219	223	249	372	366	295	390	302
Cs	3,2	8,1	11,8	6,8	6,0	10,0	20,0	9,4

Wie von WIESENEDER (1962, 1971) bereits ausgeführt, wird der Grobgneis durch Metamorphose eines grobkörnigen Granits während der alpinen Gebirgsbildung gebildet. Das metamorphe Ereignis bei T ~ 500° C und einem Druck von 3 bis 4 kb verlief dabei ohne wesentliche Metasomatose. Von dieser Voraussetzung ausgehend könnte dieser Granit durch partielle Aufschmelzung eines älteren granitischen Gesteins oder eines sedimentären bzw. metasedimentären Gesteins entstanden sein. Obwohl die Spurenelementchemie mit Erfolg bei petrogenetischen Studien eingesetzt werden kann, sind solche Untersuchungen an granitischen Gesteinen bisher selten durchgeführt worden. Nicht zuletzt erschwerten der breite Bereich der in Frage kommenden Ausgangsgesteine und die Bildungsbedingungen (P_{Total}, P_{H_2O}, T) sowie nachfolgende Differentiationsvorgänge einen Rückschluß auf das Ausgangsmaterial. Es ist aber in diesem Zusammenhang von Interesse, daß die SEE-Verteilung sowie der Pauschalchemismus sehr ähnlich jenen Quarz-Monzoniten ist, die von ARTH und HANSON (1972) untersucht wurden, wobei sehr wahrscheinlich als Ausgangsgestein Grauwacken anzunehmen sind. Der Vergleich der Quarz-Monzonite mit den Graniten ist natürlich nur auf geochemischer Basis erlaubt.

Die SEE-Verteilung (Abb. 1) zeigt jedenfalls in den einzelnen Proben eine mehr oder minder stark ausgeprägte negative Eu-Anomalie, die bisweilen auch fehlen kann (Probe 18). Der Abfall zum schweren Ende der SEE (Ausnahme Probe 18) deutet nach BUMA et al. (1971) auf partielle Aufschmelzung von Gesteinen der unteren Kruste, wobei ein Rückstand

aus Granat oder Zirkon die Abreicherung der schweren SEE erklären kann.

Wie später gezeigt wird, ist dies eine durchaus plausible Annahme, muß doch auf Grund der SEE-Chemie des Leukophyllits darauf

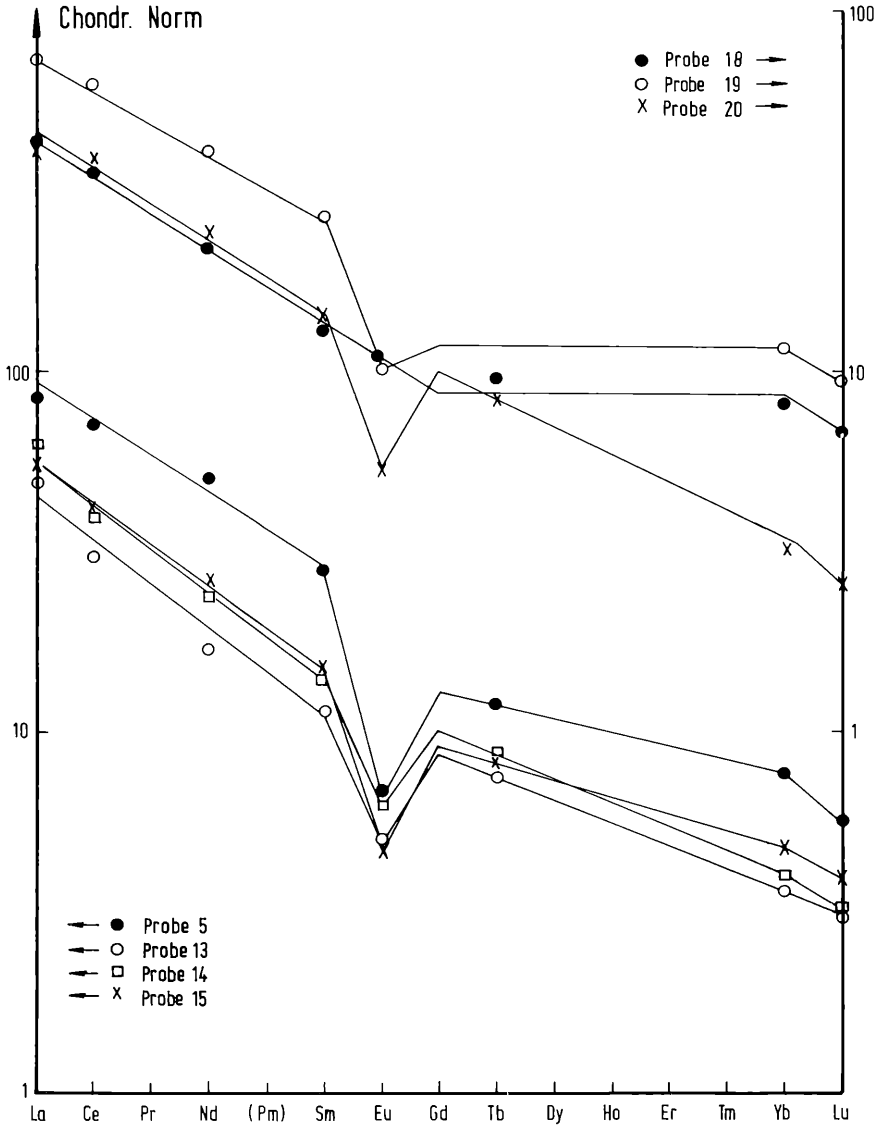


Abb. 1: SEE-Verteilung der Granitgneise aus dem Miesenbachtal (Proben 5, 13, 14, 15 und 19), Ratten (Probe 18) bzw. St. Kathrein am Hauenstein (Probe 20).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

geschlossen werden, daß zumindest die hygromagmatophilen Elemente der Gesteine der Grobgneisserie während der Metamorphose keine wesentliche Konzentrationsänderungen erfahren.

Von den besprochenen Granitgneisen wurden Schwermineralfraktionen nach Schweretrennung mit Clericilösung, Dichte 3,5 (Probe 5) bzw. Tetrabromäthan, Dichte 2,94 erhalten und auf ihren Spurenchemismus untersucht. Die Schweretrennung aller in dieser Arbeit besprochenen Proben erfolgte bei granatarmen Gesteinen mit Tetrabromäthan, bei granatreichen mit Clericilösung. Wohl wird bei Anwendung der letzteren ein hoher Granatanteil in der Schwerefraktion unterdrückt, doch sind Verluste bei Apatit unumgänglich. Der Anteil der Schwermineralfraktion lag in allen Proben <0,1 Masse –%. Die Resultate sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2: Spurenelementanalysen der Schwermineralfraktion der grobkörnigen Granitgneise (alle Angaben in ppm).

Proben Nr.	5	13	14	15	19
La	196	211	350	340	273
Ce	500	495	805	805	670
Nd	210	185	259	307	261
Sm	51	44	52	71	52
Eu	0,80	4,34	6,9	6,4	3,9
Tb	3,1	7,0	7,2	11,3	8,8
Yb	61	12	11,3	19,7	22,4
Lu	12,6	1,66	1,29	2,78	3,29
Th	87	78	113	134	174
U	317	30	31	59	25,5
Sc	31	21	34	67	55
Hf	264	11	10	46	55
Co	520	16	15	149	12
Cr	< 29	25	21	29	15
Rb	< 11	310	300	139	420
Cs	~ 1	28	31	3,9	33

Der Spurenelementchemismus widerspiegelt die mineralische Zusammensetzung der Schwerefraktionen. Auffällig der hohe Zirkonanteil der Probe 5 (Hf, U), die neben Epidot, Granat und Apatit auch Magnetit (Co) führt, dagegen nahezu keine Glimmeranteile (siehe Rb, Cs) aufweist. In allen anderen Schwermineralanteilen zeigt sich, allein durch die Anwendung von Tetrabromäthan bedingt, ein ziemlich starker Anteil an Glimmermineralen (Biotit), Zirkon tritt nur untergeordnet auf, Magnetit ist auf Probe 15 beschränkt, sonst überwiegen Granat, Epidot und Apatit.

Aus der Probe 18 und 20 konnte keine für weiterführende Untersuchungen ausreichende Mengen an Schwermineralien erhalten werden, der Schwermineralanteil lag jeweils <0,01 %.

Leukophyllit: Die von MODJTAHEDI und WIESENEDER (1974) beschriebenen phyllitischen Gesteine treten in randnahen Positionen in den Grobgneisen auf. Offensichtlich an Streßzonen also, wo bei niederen Temperaturen von ca. 300° C eine metasomatisch bedingte Serizitisierung der Kalifeldspäte eintritt. Anhand des Miesenbacher Leukophyllit, der unmittelbar mit den Grobgneisen (5, 13, 14 bzw. 15) verglichen werden kann, sind Hinweise auf die Art des metasomatischen Vorganges möglich. Aus den chemischen Analysen von MODJTAHEDI und WIESENEDER (1974) wird klar, daß sich nur die Zufuhr von Mg^{2+} und OH^- bzw. die Abwanderung von Na^+, K^+ und Fe^{2+} dokumentiert. Zufuhr von Si^{4+} bzw. Ca^{2+} und Ti^{4+} ist dagegen nicht erfolgt.

Die Tabelle 3 enthält die Resultate der Spurenelementanalysen des Leukophyllits aus dem Miesenbachtal, welche den Mittelwerten aller Miesenbacher Grobgneise gegenübergestellt sind. Bei den Schwermineralfraktionen wurden nur die mit Clerici abgetrennten Schwermineralfraktionen der Probe 4 und 5 berücksichtigt.

Tabelle 3: Spurenelementanalysen von Leukophyllit im Vergleich zum Mittelwert aller Grobgneise aus dem Miesenbachtal (alle Angaben in ppm).

	Gesteinsproben		Schwermineralfraktion	
	Leukophyllit Probe 4	Grobgneise Proben 5, 13, 14, 15, 19	Leukophyllit Probe 4	Grobgneis Probe 5
La	16	19,54	4100	196
Ce	37,5	41,6	9400	500
Nd	16	18,6	4900	210
Sm	3,3	4,0	1130	51
Eu	0,28	0,492	51,1	0,80
Tb	0,39	0,445	48	3,1
Yb	0,40	1,08	100	61
Lu	0,055	0,155	11,8	12,6
Th	8,9	12,06	2700	87
U	3,9	3,22	636	317
Sc	2,5	5,62	36	31
Hf	2,9	3,18	380	264
Co	0,6	3,64	25	520
Cr	0,7	8,32	125	< 29
Rb	195	271	n. b.	< 11
Cs	3,6	7,9	n. b.	~ 1

Es wird deutlich, daß der Verlauf der SEE dem der Grobgneise annähernd folgt, wenngleich die SSEE auch ziemlich deutlich abgereichert erscheinen.

Der Abreicherungsfaktor wird bei Yb und Lu 2. Der metasomatische Effekt ist außerdem ganz deutlich bei Co, Cr, Rb und Cs ausgeprägt, offensichtlich werden diese Elemente während der Serizitisierung weggeführt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Änderung der Schwermineralzusammensetzung ist jedoch bedeutend. Die SEE werden mehr oder minder neuverteilt. Dabei erreichen die LSEE Anreicherungsfaktoren von ca. 20, die SSEE dagegen nur von ca. 1 bis 1,5. Es muß jedoch an dieser Stelle auf den Unterschied des Mineralbestandes in den Schwermineralfraktionen zwischen Grobgneis und Leukophyllit hingewiesen werden. Im Leukophyllit überwiegt Apatit, auch Rutil und Zirkon sind häufig vertreten. Erze und Granat sind dagegen selten. Auch hier war der Anteil der Schwermineralfraktion $\leq$0,01 %.

Ähnlich stark wie die SEE werden auch Th und Uran umverteilt. Wie immer die Zusammensetzung der Lösung war, die entlang dieser Störungszonen den Grobgneis durchdrang, sie hat das Verteilungsmuster der hygromagmatophilen Elemente nur unwesentlich verändert. Die variierenden Neigungen am schweren Ende der Seltenen Erdelemente in den Grobgneisen weisen unseres Erachtens auf unterschiedliche Gehalte an Granat und Zirkon hin, so daß wir viel eher der Ansicht sind, ein an diesen Mineralen verarmter Grobgneis wurde metasomatisch umgewandelt, als daß es zu einer teilweisen Abreicherung an Schweren Seltenen Erdelementen kam. Dies steht im Gegensatz zu der weit verbreiteten Ansicht, daß die SSEE als Komplex-Ionen leicht weggeführt werden können, stellt doch H_2O als Molekül einen starken Liganden dar und ersetzt sofort und sehr leicht alle anderen nur denkbaren Liganden, insbesondere bei neutralen bis schwach sauren wässerigen Lösungen. Im alkalischen Medium ist hingegen OH^- ein starker Konkurrent für die Ligandenstellen, auf Grund der geringen Löslichkeit der Hydroxide bis basischen Oxide.

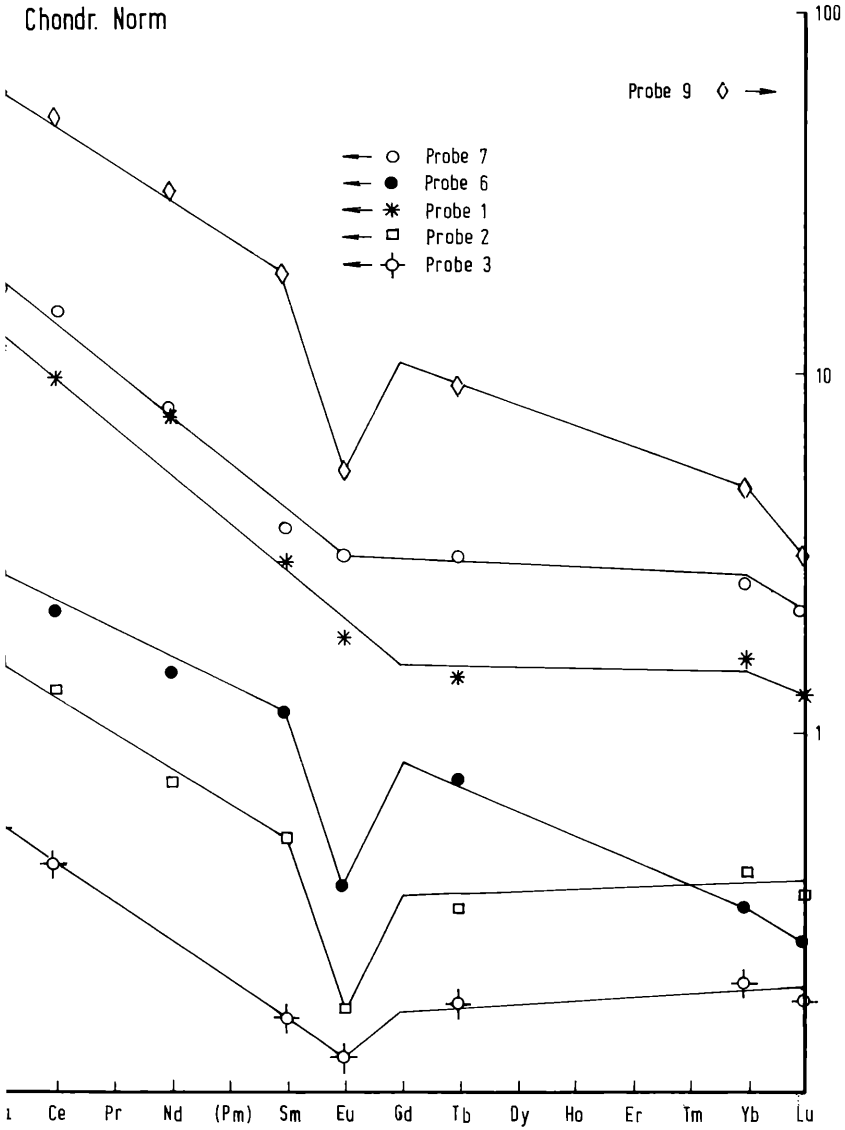
Die Metasomatose wurde nun unseres Erachtens sehr wahrscheinlich durch eine neutrale bis schwach basische magnesiumhältige Lösung verursacht, deren Bildung in Zusammenhang mit ultrabasischen Gesteinen gestanden haben dürfte. Obwohl der Gehalt an Mg basischer Wässer sehr gering ist (Barnes et al. 1972), bei P_H11 bis 12 etwa 0,2 bis 0,8 mg/l, ist doch ein Anstieg des Mg-Gehaltes zum Neutralpunkt hin infolge steigender Löslichkeit von $Mg(OH)_2$ zu erwarten.

Jedenfalls kann die Wirkung eines neutralen bis schwach alkalischen Wassers die Änderung des Verteilungsmusters der SEE nicht erklären, da unter diesen Bedingungen die Löslichkeit der SSEE<LSEE sein sollte.

Gesteine der Strallegger Gneis- und Schieferserie

Charakteristische Gesteine sind der Paragneis (Probe 7) und der Orthogneis (Probe 6) aus der Talklagerstätte Rabenwald sowie vier Disthenquarzite (Proben 1, 2, 3 und 9), dem kennzeichnenden Gestein der Schieferserie. Die Disthenquarzite 1 bis 3 entstammen dem Schloffereck-Disthenquarzitkomplex, die Probe 9 jenem bei Fronsberg. In Tabelle 4 sind die Spurenelementanalysen dieser Gesteine sowie deren Schwermineralfraktionen angegeben. Die Abbildung 2 zeigt die auf Chondrite normierte SEE-Verteilung dieser Proben.

Bei den hier untersuchten Gesteinen handelt es sich durchwegs um netamorphe Bildungen. Obwohl die Kenntnis der Verteilung der ›purenelemente der metamorphen Gesteine noch mehr als lückenhaft ist, o wird doch allgemein die Ansicht vertreten, daß die Metamorphose



bb. 2: SEE-Verteilung der Gesteine der Strallegger Gneis- und Schieferserie aus der ılklagerstätte Rabenwald (Paragneis, Probe 7, und Orthogneis, Probe 6) aus dem Schloffereck-Disthenquarzitkomplex (Proben 1, 2 und 3) bzw. Fronsberg (Probe 9).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 4: Spurenelementgehalte der Gesteine der Strallegger-Gneis- und Schiefer-Serie sowie der Schwermineralfraktionen dieser Gesteine (alle Angaben in ppm).

Proben Nr.	7	6	1	2	3	9
La	53	8,7	36	4,8	1,6	19
Ce	127	19	83	11	3,7	44
Nd	47	8,8	45	4,3	n. b.	19
Sm	8,0	2,4	6,1	1,1	0,35	4,0
Eu	2,30	0,28	1,29	0,13	0,093	0,39
Tb	1,51	0,36	0,70	0,16	0,086	0,46
Yb	4,35	0,55	2,61	0,70	0,35	0,84
Lu	0,67	0,081	0,39	0,11	0,056	0,096
Th	18	4,6	20	4,7	1,8	14
U	2,3	3,9	3,3	2,0	0,42	3,7
Sc	40	3,7	21	4,6	4,0	4,0
Hf	3,1	1,5	4,3	9,1	6,7	2,8
Co	19	2,3	13	1,3	1,6	1,7
Cr	101	0,3	103	45	48	1,4
Rb	108	357	150	2,4	4,7	230
Cs	3,9	15	11	0,4	0,7	8,5
			Schwermineralfraktion			
La	27	32	135	–	25	1600
Ce	101	105	339	–	45	2500
Nd	n. b.	n. b.	n. b.	–	31	n. b.
Sm	7,0	18	23	–	7,0	390
Eu	3,5	1,24	4,45	–	0,26	19
Tb	3,5	3,3	3,0	–	0,46	28
Yb	9,1	21	18,4	–	19	34
Lu	n. b.	n. b.	2,9	–	n. b.	4,6
Th	4,2	16,7	57	–	21	430
U	3,2	101	16	–	12,7	78
Sc	83	18	130	–	46,5	59
Hf	3,6	22	1,7	–	180	16
Co	24	19	37	–	3,4	11
Cr	111	32	116	–	355	56
Rb	< 11	18	50	–	12	n. b.
Cs	< 0,7	< 0,3	≤ 1,5	–	< 0,35	12

zumindest den Bereich der immobilen Elemente nicht beeinflußt. Tatsächlich zeigen der Paragneis sowie alle untersuchten Disthenquarzite die erwarteten Verteilungsmuster.

Der Paragneis, dessen chemische Analyse in Tabelle 5 wiedergegeben ist, entspricht in der SEE-Norm durchaus einem granitischen Gestein, was auf tonige Arkosen oder Grauwacken als *Ausgangsmaterial* hinweist. Der Aluminiumüberschuß manifestiert sich im Sillimanit-Gehalt und in Paramorphosen nach Andalusit.

Wie zu erwarten variiert der SEE-Gehalt der Disthenquarzite in breiteren Grenzen, wobei fallweise eine negative Eu-Anomalie zu beobachten ist. Besonders interessant aber das Verteilungsmuster der Probe 9, die gegen das schwere Ende der SEE eine deutliche Abreicherung aufweist.

Schließlich entspricht auch der Orthogneis in seiner SEE-Verteilung nicht sonderlich gut einem Granit, obwohl hier ursprünglich granitisches Material ohne den Umweg über ein Sediment metamorph umgewandelt vorliegen sollte. Wir sind nach dem Studium der Analyse der Schwermineralfraktionen der Meinung, daß die Erklärung für dieses abweichende Verhalten zumindest teilweise aus der Spurenelementverteilung abgelesen werden kann.

Der Anreicherungsfaktor in der Schwermineralfraktion für die SEE und Th ist sowohl für den Paragneis als auch den Orthogneis unbedeutend, das SEE-Verteilungsmuster entspricht im Fall des Paragneis einer Granat-Rutil-Vorherrschaft mit untergeordneten Anteilen Apatit, der bei der Metamorphose entweder die SEE nicht aufnehmen konnte bzw. eine Spätbildung ist. Es hat daher den Anschein, daß der Orthogneis, zumindest lokal, die schwere Komponente der SEE verloren hat, wobei nur zwei Möglichkeiten vorstellbar sind. Entweder werden die SSEE-Träger (Zirkon, Rutil) bei der Platznahme des granitischen Körpers gravitativ differenziert oder die an hygromagmatophilen Elementen angereicherte Restschmelze in den Porenräumen wurde ausgequetscht, was ebenfalls zu bevorzugtem Verlust der schweren Komponente der SEE führen könnte.

Tabelle 5: Chemische Analyse des Strallegger Gneises aus dem Bereich des Bergbaues „Krughof" und CIPW-Norm, verändert unter Berücksichtigung des Biotits (Analytiker: F. KLUGER).

Bestandteil	Gehalt in Masse %	CIPW-Norm	Niggli-Werte
SiO_2	63,13	q 40,3	al 44,4
TiO_2	0,99	or 13,7	fm 39,8
Al_2O_3	17,99	ab 8,7	c 2,0
Fe_2O_3	4,00	an 2,2	alk 13,8
FeO	3,59	bi 15,3	
MnO	Spur	sill 15,6	
MgO	2,36	ru 0,8	
CaO	0,47	mt 3,4	
Na_2O	1,00		
K_2O	3,68		
P_2O_5	0,02		
H_2O^+	1,85		
H_2O^-	0,14		
	99,22		

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wir sind eher der Ansicht, daß erstgenannter Vorgang wirksam war, denn die Schwermineralfraktion enthält weder Zirkon noch Rutil, sie ist im wesentlichen Granat-Titanit dominiert mit untergeordneten Anteilen von Apatit und Glimmern.

Interessant ist das Verteilungsmuster der Schwermineralfraktion des Disthenquarzits (Probe 9). Die vorwiegend Titanit und Apatit führende Fraktion weist Anreicherungsfaktoren von >50 für die meisten SEE und von 31 für Th auf. Dies deutet darauf hin, daß bei der Metamorphose eine ähnlich effiziente Umverteilung der SEE und von Th erreicht wurde, wie dies im Falle der Leukophyllit-Metasomatose beobachtet wurde. Dort, wo ein SEE-Trägermaterial fehlt wird dieser Effekt unbedeutend. So weist nur Probe 1 eine nennenswerte Anreicherung der SEE und Th in der Schwerfraktion auf, die im wesentlichen Granat-Rutil dominiert ist, wohingegen das SEE-Verteilungsmuster der Probe 3 Zirkon dominiert ist. Von Probe 2 konnte dagegen keine Schwermineralfraktion erhalten werden.

Im untersuchten Gebiet wurden somit bisher zwei Stellen mit starker Anreicherung der SEE und Th im Schwermineralanteil aufgefunden, nämlich der Leukophyllitzug im Miesenbachtal sowie die Disthenquarzitlinse bei Fronsberg. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um eine Extraktion der betreffenden Elemente während des metasomatisch-metamorphen Ereignisses mit Hilfe der SEE-Trägerminerale Apatit, Zirkon, Rutil usw. aus den Matrixmineralen. Die Anreicherungsfaktoren im Fall des Leukophyllits betragen 256 (La) bzw. 303 (Th), für den Disthenquarzit von Fronsberg 84 (La) bzw. 31 (Th). Nach der Normverteilung aufgerechnet ergibt dies einen Gehalt von ca. 21,6 kg/t SEE im Schwermineralanteil des Leukophyllits bzw. ca. 7,1 kg/t SEE in der Schwermineralfraktion des Disthenquarzites von Frohnsberg. In den Paragneisen (Strallegger Gneis) scheint der Gehalt an SEE an 0,05–0,1 mm große Monazite gebunden zu sein, die in Biotiten pleochroitische Höfe verursachen.

Danksagung

Die Autoren danken der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Kommission für Grundlagen der Mineral- und Rohstofforschung), die diese Arbeit finanziell unterstützt hat.

Literatur

Arth, J. G., Hanson, G. N. (1972): Quartz Diorites derived by partial melting of Eclogite or Amphibolite at mantle depths. Contr. Mineral. Petrol. *37*, 161–174.

BARNES, I., RAPP, J. B., O'NEIL, J. R., SHEPPARD, R. A., GUDE, A. J. (1972): Metamorphic assemblages and the direction of flow of metamorphic fluids. Contr. Mineral. Petrol. *35*, 263–276.

BUMA, G., FREY, F. A., WONES, D. R (1971): New England Granites: Trace element evidence regarding their origin and differentiation. Contr. Mineral. Petrol. *31*, 300–320.

ERKAN, H. (1977): Uran und gipsführendes Permoskyth der östlichen Ostalpen. Jb. Geol. Bundesanst. Wien, *120*, 343–400.

FAUPL, P. (1972): Zur Geologie und Petrographie des südlichen Wechselgebietes. Mitt. Österr. Geol. Ges., Wien, *63*, 22–51.

FAWCETT, J. J., YODER, H. S. (1966): Phase relationsships of Chlorites in the System MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O. Am. Min., *51*, 353–380.

FAZEKAS, V., KÓSA, L., SELMECZI, B. (1975): Ritkaföldfém ásványosodás a Soproni-hegység kristályos paláiban. Föltani Közlöny, Bull. of the Hungarian Geol. Soc., 297–303. (Seltene Erden in Kristallinen Schiefern des Ödenburger Berglandes.)

FLÜGEL, H. (1979): Zur tektonischen Stellung des Kristallins des Rabenwaldes und des Kulm. Mitt. naturw. Ver. Steiermark, *109*, 97–99.

FRIEDRICH, O. M. (1947): Die Talklagerstätten des Rabenwaldes, Oststeiermark. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte *92*, Leoben, 66–85.

HERITSCH, H. (1965): Die Anwendung des Magnetkies-Geothermometers auf einige Fundpunkte in den östlichen Ostalpen (Gleinalm, Koralpe, Rabenwald). Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. 184–199.

HERITSCH, H. (1967): Über die Bildungstemperatur der Talklagerstätten auf dem Rabenwald. Miner. Mittbl. Joanneum, Graz, 40–45.

HERITSCH, H. (1971): Ein Beitrag zur Frage der Bildungsbedingungen der Talklagerstätten auf dem Rabenwald. Mitt. naturwiss. Verein Stmk., Graz, *100*, 28–36.

KISHAZI, P. (1979): Unveröffentlicher Bericht.

MODJTAHEDI, M., WIESENEDER, H. (1974): Entstehung und Zusammensetzung der Leukophyllite (Weißschiefer) in den Ostalpen. Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen. Leoben. *Sdb. 2*, 189–213.

MOREAU, P. (1981): Le massif du Rabenwald (Autriche) et ses Minéralisations (Talc, Chlorite, Disthène, Leucophyllite). Thèse présentée a la Faculté des Sciences et des Techniques de l'Université de Franche-Comté Becançon.

SCHWINNER, R. (1935): Zur Geologie von Birkfeld. Mitt. naturw. Vr. Stmk., *72*, Graz, 67–100.

WIESENEDER, H. (1961): Die Korund-Spinellfelse der Oststeiermark als Restite einer Anatexis. Miner. Mittbl. Joanneum, Graz, 1–30.

WIESENEDER, H. (1962): Die alpine Gesteinsmetamorphose am Alpenostrand. Geolog. Rundschau *52*, 238–246.

WIESENEDER, H. (1967): Über die Genesis chloritoidführender Gesteine der Oststeiermark. Miner. Mittbl. Joanneum, Graz, 1–2, 124–128.

WIESENEDER, H. (1968): The Eastern End of the Central Alps. Guide to Excursion **32 C**, Int. Geol. Congr. *23*, Session Prague (Published by the Geological Survey of Austria).

WIESENEDER, H. (1971): Gesteinsserien und Metamorphose im Ostabschnitt der Österreichischen Zentralalpen. Verh. Geol. B. A., 344–357, Wien.

WIESENEDER, H. (1981), in: KOLLER, F., und WIESENEDER, H.: Gesteinsserien und Metamorphose der Rechnitzer Serie im Burgenland und des Unterostalpins der Oststeiermark. Fortschr. Miner. Bd. *59*, Beih. 2, 167–178, Stuttgart.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. W. Kiesl, Institut für Analytische Chemie, Universität Wien, Währinger Straße 38, A-1090 Wien; Prof. Dr. H. Wieseneder, Institut für Petrologie, Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, A-1010 Wien; F. Kluger, Institut für Analytische Chemie, Universität Wien, Währinger Straße 38, A-1090 Wien.